

玄米中放射性セシウムの経根吸収に対するカリ施肥の影響

Effect of potassium application fertilizer on root uptake of radiocesium to brown rice

福島県農業総合センター生産環境部

齋藤 隆 大越 聡 岩淵幸治

齋藤正明 根本知明 吉岡邦雄

作物園芸部

藤村恵人¹ 佐藤 誠

福島大学うつくしまふくしま未来支援センター

塚田祥文

¹現農研機構東北農業研究センター

玄米から暫定規制値を超える放射性セシウムが検出された水田において、放射性セシウムの分布実態を明らかにするとともに、玄米中の放射性セシウム濃度を低減するため、放射性セシウムの経根吸収に関するカリ施肥の影響を調査した。深さ0-5、5-10および10-15cmの土壤中放射性セシウム濃度の平均値はそれぞれ乾土1kgあたり5,900、3,200および1,800Bqであった。供試水田は耕起・代かきが十分に行われたが、土壤中放射性セシウム濃度の垂直分布は均一ではなかった。深さ0-5cmの土壤中放射性セシウム濃度の水平分布は乾土1kg当たり4,500~7,800Bqで、約2倍の幅がみられた。玄米中放射性セシウム濃度の平均値はカリ追肥により1kg当たり370Bqから138Bqに減少し、カリの追肥は玄米中放射性セシウム濃度を低減できることが示された。

キーワード：放射性セシウム、水稻、玄米、交換性カリ、移行係数

1 緒言

2011年3月11日の東日本大震災により、東京電力福島第一原子力発電所の事故が引き起こされ、大量の放射性セシウムが大気中に放出された。これにより、東日本を中心とする農耕地や森林などの土壌で甚大な放射能汚染が引き起こされた。放出された主な核種である¹³⁴Csおよび¹³⁷Csの半減期はそれぞれ2.06年、30.2年と長いことから農耕地の表層に長期的に残留することが懸念されている。このため、私たちは2011年3月から福島県内の農耕地から土壌のモニタリングを開始し、農地における放射性セシウムを調査した⁸⁾。このデータを基に原子力災害対策本部は福島県の警戒区域や計画的避難区域を除くすべての地域で水稻の作付を認めた。しかしながら、福島県内の一部の玄米から当時の暫定規制値(500Bq kg⁻¹)を超える値が検出された。この結果、この地域では2012年度における水稻の作付が制限された。

本研究では、水田内の放射性セシウムの垂直および水平分布の実態を明らかにするとともに、玄米中の放射性セシウム濃度を低減するため、放射性セシウムの経根吸収に関するカリ施肥の影響を調査した。

2 材料および方法

(1) 試験ほ場

この試験は福島県内の北部に位置する水田で行われた。この地域は福島県内で水稻を作付されている水田の中で比較的土壌中の放射性セシウムのレベルが高い。また、水田に森林からの表面流去水が灌漑水として用いられている(図1)。

(2) 栽培方法

耕起、代かき、移植はそれぞれ2011年の5月3日、5月

8日および5月15日に行われた。ロータリー耕により深さ10-15cm程度耕起した。栽植密度は18.5株/m²(30×18cm)であった。施肥は2011年の5月3日に0.52:1.3:0.4(N-P₂O₅-K₂O)(kg/a)の割合でSite1~Site5に施用した。2011年の7月25日にSite4およびSite5については0-0.12-0.12(kg/a)の割合で追肥を行った。稲わらおよび堆肥は過去10年間施用していない。

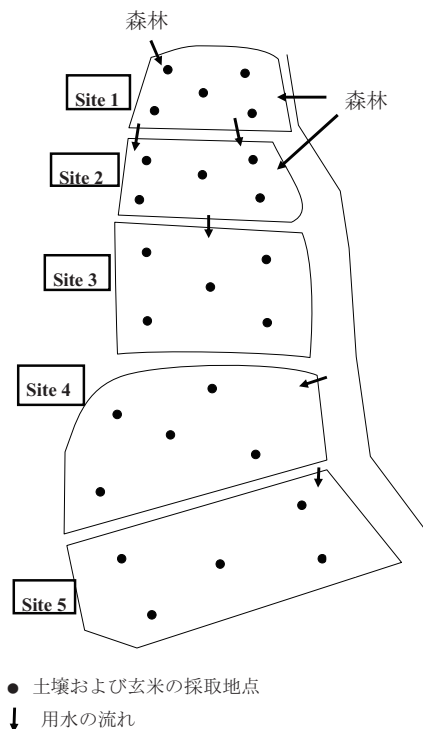


図1 用水の流れと土壌および玄米のサンプリング地点

(3) 試料採取および調整

この水田の土壌は細粒グライ土に分類される¹⁾。土壌から玄米への移行係数を決定するため、水稻の株元の近傍から土壌を収集した。土壌試料は、10月2日に(深さ0~15cm)長さ30cm直径5cmの藤原製作所製土壌採土器(HS-30)を用い、水稻収穫後、5試験水田から採取した(図1)。各試験水田から土壌試料5点採取し、0-5cm, 5-10cm, 10-15cmの3層に分別した。土壌採土器の内側は、各層の土壌が放射性セシウムで汚染されるのを防ぐため、内部に透明樹脂製ライナーを装着し、試料を採取した。採取した土壌は21日間風乾した後、十分に混合し、2mmの篩を通した。土壌の採取後、各水田の土壌採取した近傍から籾を採取し、40℃で24時間乾燥させた。籾すり後、1.80mmの篩を通し、玄米試料とした。

(4) 試料分析

乾燥した土壌と玄米は、円筒状のポリスチレン容器(U8容器、内径:5.0cm、外径:5.6cm、高さ:6.8cm)に充填した。土壌と玄米中の放射性セシウムの濃度は、Ge半導体検出器を用いたガンマ線スペクトロメータを用い、測定時間は2000秒で行った。交換性K₂OはセミマイクロSchollenberger法を用いて抽出し、その濃度は原子吸光光度計を用いて測定した。

3 結果および考察

(1) 試験ほ場における放射性セシウムの垂直分布

放射性セシウムの経根吸収は土壌中の実根圏の垂直分布に依存している。原子力発電所の事故による放射性降下物は、事故直後に土壌表層に堆積したが、耕起により深部まで分布したと報告されている⁶⁾。水田土壌中の放射性セシウム濃度の垂直分布を図2に示した。深さ0-5cm, 5-10cm, 10-15cmの放射性セシウム濃度の平均値はそれぞれ乾土1kg当たり5,900Bq(4,700-6,700)、3,200Bq(2,700-3,700)

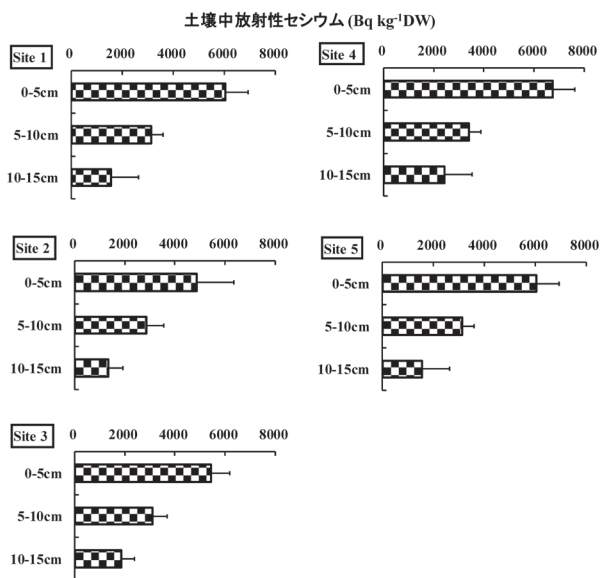


図2 異なる5試験水田における放射性セシウムの垂直分布

および1,800Bq(1,200-2,900)であった。この結果、水田ほ場は十分に耕起されていたが、放射性セシウムの垂直分布は均一ではないことが示された。一方、同じ地区の畑地で耕起後の放射性セシウムの垂直分布を調査した結果、深さ0-15cmの作土層の放射性セシウム濃度の垂直分布は均一に混合されていたと報告されている⁶⁾。この水田土壌において土壌中の放射性セシウムに濃度勾配がみられたのは代かきにより放射性セシウムが表面に集積したためであると推測される。

(2) 試験ほ場における放射性セシウムの水平分布

福島第一原発事故後、汚染されたほ場では放射性セシウム濃度の垂直分布が調査された⁷⁾⁹⁾。農地における垂直分布については多くの研究者が調査を行ったが、農地における放射性セシウムの水平分布について調査を行った報告は少ない。

このため、異なる5試験水田から5試料採取し、放射性セシウムの水平分布を調査した。深さ0-5cmの放射性セシウム濃度の最小値と最大値は乾土1kg当たり4,500-6,800Bq、2,500-6,400Bq、4,400-6,400Bq、5,800-7,700Bqおよび4,600-7,800Bq kg⁻¹であった。十分に耕起・代かきが行われた水田でも約2倍のばらつきが見られた(図3)。同じ地区の畑地で耕起した後の放射性セシウムの水平分布を調査した結果でも、表層における放射性セシウムの水平分布(0-2.5cm)は約2倍の差が見られた⁶⁾。水稻による放射性セシウムの吸収を正確に評価するためには、この水平分布のばらつきを考慮して根域土壌中の放射性セシウム濃度を精確に測定する必要があることが示された。

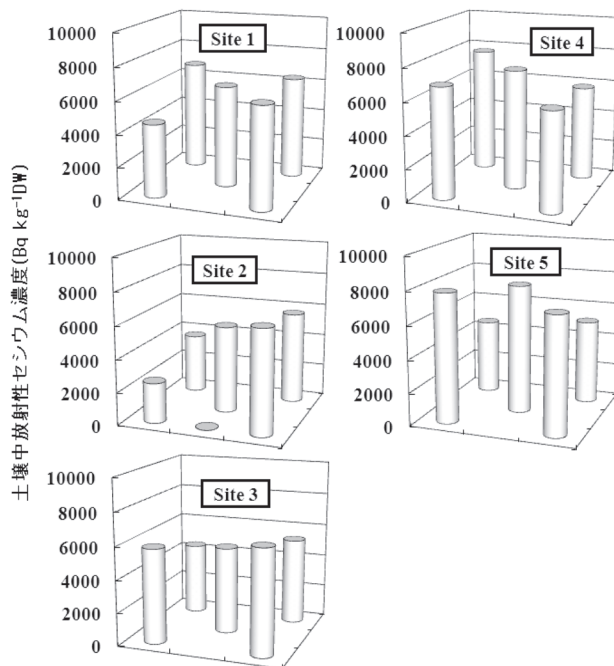


図3 異なる5試験水田における深さ0-5cmの放射性セシウムの水平分布(各水田から5地点の土壌を採取)

(3) 玄米中放射性セシウム濃度と移行係数

5 試験水田の玄米中放射性セシウム濃度はそれぞれ 1 kg 当たり 230-397Bq、278-485Bq、158-281Bq、52-115Bq および 92-137Bq であり、暫定規制値 (500Bq kg⁻¹) を下回っていた。福島県内の 2011 年度産玄米の 99.8% は暫定規制値を下回っており²⁾、福島県内で生産された玄米中放射性セシウム濃度と比べると本試験水田で生産された玄米中放射性セシウム濃度は相対的に高かった。

本実験で得られた土壌中放射性セシウム濃度と玄米中放射性セシウム濃度の間には相関関係はみられなかった (図 4)。移行係数は放射性セシウムの土壌から汚染レベルの異なるほ場から植物中の放射性セシウム濃度を評価することのできる簡単で、重要な指標である。移行係数は一般的に、同一作物でも非常に幅広い変動を示す。これは、移行係数が作物の種類だけでなく、土壌の種類・性質、施肥、資材の施用によって変動するためである。表 1 のデータで示したように、この研究で得られた玄米中放射性セシウムの移行係数の幾何平均値は 5 試験水田で 0.014-0.094 の範囲であり、最大値と最小値間には 7 倍の差が示された。Tsukada *et al.*¹⁰⁾ や駒村ら⁴⁾ の報告では核実験由来放射性降下物の沈着に由来する白米の移行係数の幾何平均値はそれぞれ 0.0016 および 0.0030 であった。この試験で得られた移行係数はこれらの報告値よりも高かった。これは移行係数が土壌に放射性セシウムが降下した後の経年期間に依存し、時間が経過すれば可給態セシウムの割合が減少するためであると考えられる。

表 1 放射性セシウムの移行係数(TF)

	幾何平均	範囲
Site 1	0.053	0.049-0.063
Site 2	0.094	0.075-0.11
Site 3	0.039	0.027-0.053
Site 4	0.014	0.0075-0.019
Site 5	0.018	0.014-0.021

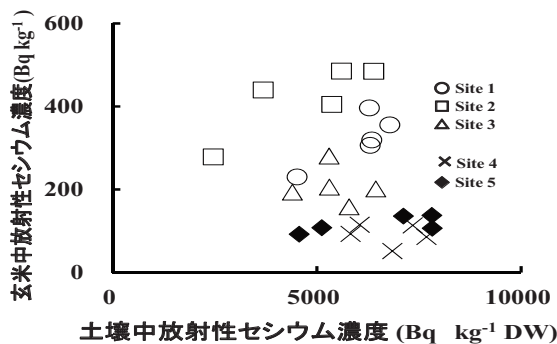


図 4 土壌中放射性セシウム濃度と玄米中放射性セシウム濃度の関係

(4) 玄米中放射性セシウム濃度と土壌中交換性カリの関係

カリウムは植物生理学の中で重要な必須元素で、農地土壌には施肥により供給されている。Tsukada *et al.*¹⁰⁾ は土壌中交換性カリの増加に伴い¹³⁷Cs の移行係数が低減すると報告している。加藤ら³⁾ や Saito *et al.*⁵⁾ は震災後の水田において土壌中の交換性カリの増加に伴い、放射性セシウムの土壌から玄米への移行係数および玄米中放射性セシウム濃度が低下すると報告している。本実験で得られた土壌中交換性カリと玄米中放射性セシウム濃度の関係を図 5 に示した。土壌中交換性カリと玄米中放射性セシウム濃度の関係には高い相関関係があった (R=0.87)。さらに、玄米中の放射性セシウム濃度の平均値はカリの追肥により 1 kg 当たり 370Bq から 138Bq に低減した。これにより、カリの追肥により玄米中の放射性セシウム濃度を低減できることが明らかになった。

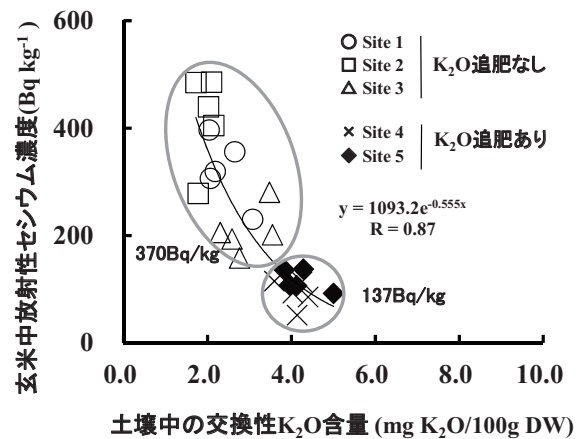


図 5 土壌中交換性カリと玄米中放射性セシウム濃度の関係

引用文献

- 1) FAO. 2006. World reference base for soil resources. World Soil Resources Reports 103: 1-128.
- 2) 福島県農林水産部. 2012. 玄米中放射性物質の緊急調査結果. http://www.cms.pref.fukushima.jp/download/1/suiden_kinkyu_120203_torimatome.pdf
- 3) 加藤直人. 2012. 水稻、大豆、キャベツにおける放射性セシウム低減対策. 農業及び土壌の放射能汚染対策技術国際研究シンポジウム要旨集 91-92.
- 4) 駒村美佐子・津村昭人. 1994. 誘導結合プラズマ質量分析法による土壌から白米への放射性核種の移行係数算定. Radioisotopes 43: 1-8.
- 5) Saito, T., Ohkoshi, S., Fujimura, S., Iwabuchi, K., Saito, M., Nemoto, T., Sato, M., Sato, M., Yoshioka, K., and Tsukada, H. 2012. Effect of potassium application on root uptake of radiocesium in rice. KUR Research Program for Scientific Basis of Nuclear Safety 165-170.
- 6) 齋藤隆・佐藤睦人・高橋嘉夫・梅尾美幸. 2012. 農業及び土壌の放射能汚染対策技術国際研究シンポジウム要旨集 392.
- 7) 塩沢 昌・田野井慶太郎・根本圭介・吉田修一郎・西田和弘・

- 橋本 健・桜井健太・中西友子・二瓶直登・小野勇治. 2011. 福島県の水田土壌における放射性セシウムの深度別濃度と移流速度. *RADIOISOTOPES* 60 : 323-328.
- 8) 高田祐介・神山和則・小原 洋・齋藤 隆・谷山一郎. 2012. 農地土壌の放射能濃度分布図の作成. 農業及び土壌の放射能汚染対策技術国際研究シンポジウム要旨集 362.
- 9) Tanaka, K., Takahashi, Y., Sakaguchi, A., Umeo, H., Hayakawa, S., Tanida, H., Saito, T., and Kanai, Y. 2012. Vertical profiles of iodine-131 and cesium-137 in soils in Fukushima prefecture related to the Fukushima Daiichi nuclear power station accident. *Geochemical Journal* 46 : 73-76.
- 10) Tsukada, H., Hasegawa, H., Hisamatsu, S., and Yamasaki, S. 2002. Transfer of ^{137}Cs and stable Cs from paddy soil to polished rice in Aomori, Japan. *J. Environ. Radioact* : 351-365.